

Аргумент, утверждающий что проект или организация «Демонстрационного центра трелевки с помощью канатной подвесной дороги» стоит дорого, порядка сотни тысяч евро, на меня, как на иностранца, который несколько раз посетил Екатеринбург и некоторые из энергетических центров Свердловской области, не производит впечатления. А соответственно, такой аргумент не должен произвести впечатления на людей, облеченных властью и ответственных за подготовку будущих менеджеров лесного хозяйства. Где ещё могут быть лучшие экономические условия для реализации подобного проекта, если не в УГЛТУ? Требуется лишь меньше говорить о защите окружающей среды и экологии, а больше предпринимать конкретных действий для её улучшения.

Но, чтобы моё заключение не прозвучало с ноткой пессимизма, я должен официально заявить, что факт, когда об охране окружающей среды много говорится, но мало делается, характерен не только для данной части Российской Федерации. К сожалению, это происходит (по моему собственному опыту) во всём мире.

А.С. Пардаев

*БГТУ, г. Минск, Республика Беларусь
pas6126020@mail.ru*

**АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ ДЕРЕВЯННЫХ
КЛЕЕНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ УСУШКЕ И РАЗБУХАНИИ
(THE ANALYTICAL DESCRIPTION OF DEFORMATIONS GLUED
WOODEN CONSTRUCTIONS IN THE PROCESS
OF SHRINKAGE AND SWELLING)**

Представлена математическая модель деревянных клееных конструкций, описывающая процессы деформаций при усушке и разбухании, основанная на криволинейной расчетной схеме физико-механической анизотропии древесины на основе цилиндрической системы координат.

Mathematical model of glued wooden constructions was elaborated describing processes of deformation in the process of shrinkage and swelling based on cylindrical anisotropy of wood physical and mechanical characteristics.

В настоящее время в строительстве различных общественных и промышленных объектов (малоэтажные деревянные дома, спортивные сооружения, выставочные центры, промышленные здания, торговые комплексы и т.д.) все чаще используются деревянные клееные конструкции (ДКК). По сравнению с металлом и железобетоном применение массивной (клееной) древесины, особенно для возведения крупнопролетных сооружений, имеет ряд преимуществ: технологичность изготовления изделий различных габаритов и форм, высокая экономическая эффективность и заводская готовность конструкций, низкие расходы на транспортировку и монтаж конструкций, высокая огнестойкость и экологичность.

Однако древесина является материалом гигроскопичным, изменяющим свою влажность, размеры и форму под влиянием условий окружающей среды, что может приводить к снижению качества изделий на стадии их производства, транспортировки и эксплуатации. Изменение формы и размеров, превышающих регламентированные нормы на изделие, снижает эффективность сборочных операций, нарушает целостность конструкции уменьшает срок ее службы.

В последнее время благодаря развитию информационных технологий значительное применение получило моделирование процессов производства и появилась возможность

исследования напряженно-деформированного состояния конструкций, прежде всего посредством метода конечных элементов (МКЭ), который дает возможность разработки и внедрения новых и эффективных методик расчета и оптимизации объектов проектирования.

Основными задачами данной работы являются: выбор схемы механической анизотропии древесины и разработка аналитического описания деформаций деревянных клееных конструкций при усушке (разбухании) с целью их применения в проектной практике в системах конечно-элементного анализа (САЕ-системах).

При выборе расчетной схемы физико-механической анизотропии древесины рассматривают, как правило, следующие варианты:

- древесина как материал с прямолинейной (поперечно изотропной) анизотропией;
- древесина как материал с прямолинейной ортогональной анизотропией;
- древесина как материал с криволинейной (например, цилиндрической) анизотропией.

Рассмотрение древесины как материала поперечно изотропного приводит к большей схематизации явления, менее полно отражает действительный характер анизотропии древесины и в этом уступает предположению об ортогональной анизотропии.

Взгляд на древесину как на материал, элементарным объемам которого можно приписывать свойства ортогональной анизотропии, является в настоящее время наиболее распространенным и в наибольшей мере обоснованным опытными данными. Однако, относя древесину в малых объемах с незначительной кривизной годовичных слоев к ортотропным материалам, следует древесину в стволе рассматривать как материал с криволинейной анизотропией.

В ДКК расчетная схема анизотропии определяется формой, размерами и расположением сечений элементов конструкции по отношению к осям симметрии строения древесины.

Например, цилиндрической анизотропией обладает деревянный брусок с правильными цилиндрическими годовичными слоями. В данном случае уже нельзя пренебречь кривизной годовичных слоев, и его можно рассматривать как однородное тело с цилиндрической анизотропией. Ось анизотропии совпадает с осью сердцевины и может проходить как внутри тела, так и вне его.

Также нельзя рассматривать древесину как тело с прямолинейной анизотропией при решении задач, связанных с НДС древесины при изменении ее влажности.

Таким образом, для определения аналитического решения деформированного состояния ДКК принимаем ортогонально анизотропную (ортотропную) расчетную схему физико-механической анизотропии древесины на основе цилиндрической системы координат, которая позволит учесть структурные особенности древесины при рассмотрении процессов усушки, разбухания и механического нагружения.

Разработку модели ДКК с учетом усушки и разбухания его элементов из древесины проводили на основе теории упругости, сопротивления материалов и МКЭ.

В процессе разработки модели предполагалось, что:

- рассчитываемая ДКК представляется в виде совокупности конечных элементов (КЭ), узлы которых обеспечивают соединение элементов между собой, их перемещения определяют деформированное состояние конструкции в целом;
- связь между напряжениями и деформациями осуществляется через упругие постоянные на базе теории упругости анизотропного тела;
- параметры, характеризующие механические свойства древесины, заданы с учетом цилиндрической системы координат (рис. 1): модуль упругости вдоль волокон, поперек волокон в тангентальном и радиальном направлении соответственно E_a , E_b , E_r , модуль сдвига соответственно G_a , G_b , G_r , коэффициент поперечной деформации μ_{ra} , μ_{ar} , μ_{ta} , μ_{at} , μ_{tr} , μ_{rt} ;

– параметры, характеризующие физические свойства древесины также заданы с учетом цилиндрической системы координат: коэффициент усушки (разбухания) вдоль волокон поперек волокон в тангентальном и радиальном направлении соответственно K_a , K_t , K_r ;

– все нагрузки являются установившимися во времени;

– температурные деформации ввиду их незначительной величины не учитываются.

Общий случай механической анизотропии древесины представлен выражением:

$$\{\varepsilon\} = [D] \cdot \{\sigma\} \quad (1)$$

где $\{\varepsilon\}$ – вектор деформаций;

$[D]$ – матрица податливости;

$\{\sigma\}$ – вектор напряжений.

Для ортотропных материалов с прямолинейной анизотропией, имеющих три плоскости упругой симметрии, матрица податливости имеет вид (2) и выполняются соотношения (3).

$$[D] = \begin{bmatrix} 1/E_r & -\mu_{tr}/E_r & -\mu_{ar}/E_r & 0 & 0 & 0 \\ -\mu_{rt}/E_t & 1/E_t & -\mu_{at}/E_t & 0 & 0 & 0 \\ -\mu_{ra}/E_a & -\mu_{ta}/E_a & 1/E_a & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/G_{rt} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G_{ta} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G_{ar} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\frac{\mu_{ra}}{E_a} = \frac{\mu_{ar}}{E_r}, \quad \frac{\mu_{ta}}{E_a} = \frac{\mu_{at}}{E_t}, \quad \frac{\mu_{tr}}{E_r} = \frac{\mu_{rt}}{E_t}, \quad (3)$$

где E – модуль упругости;

μ – коэффициент поперечной деформации;

G – модуль сдвига.

Вектор деформации для ДКК рассматривали с учетом неоднородной усушки и разбухания древесины в следующем виде:

$$\{\varepsilon\} = \{\varepsilon_u\} + \{\varepsilon_w\}, \quad (4)$$

где $\{\varepsilon_u\}$ – вектор упругих деформаций древесины;

$\{\varepsilon_w\}$ – вектор влажностных деформаций древесины.

Вектор упругих деформаций имеет вид (1), а вектор влажностных деформаций в матричной форме имеет вид:

$$\{\varepsilon_w\} = (W - W_0) [K_r \quad K_t \quad K_a \quad 0 \quad 0 \quad 0], \quad (5)$$

где W – конечная влажность древесины;

W_0 – начальная влажность древесины;

K_r , K_t , K_a – коэффициент усушки (разбухания) в радиальном, тангенциальном и продольном направлении соответственно.

Неравномерное распределение влажности учитывается путем указания значения $(W - W_0)$ для каждого КЭ или группы КЭ модели ДКК в отдельности.

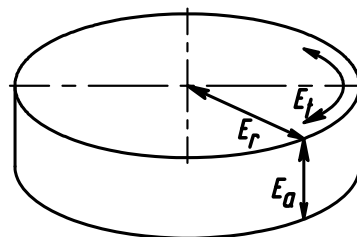


Рис. 1. Цилиндрическая система координат анизотропии постоянных упругости древесины

Физико-механические свойства конструктивных элементов ДКК определяются на основе цилиндрической системы координат, однако практическую значимость имеют деформации ДКК в глобальной, общей для всех элементов конструкции, декартовой системе координат. Таким образом, преобразование от цилиндрических систем координат каждого элемента ДКК в отдельности r_i, t_i, a_i ($i = 1, 2, \dots, n$, где n – количество элементов ДКК) в общую глобальную систему координат (x, y, z) осуществляли путем введения переменной для каждой точки поперечного сечения элемента ДКК, величины φ (угол между осями цилиндрической и глобальной системами координат) и последующего преобразования упругих и влажностных постоянных (рис. 2).

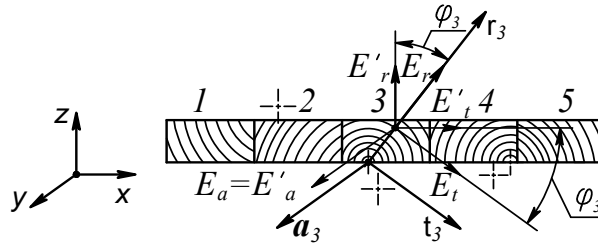


Рис. 2. Схема однослойной щитовой конструкции с указанием глобальной (x, y, z) цилиндрической (r_3, t_3, a_3) систем координат

Для преобразования упругих и влажностных постоянных от цилиндрических систем координат каждого элемента ДКК в отдельности r_i, t_i, a_i ($i = 1, 2 \dots 5$) в общую глобальную (декартову) систему координат (x, y, z) воспользовались таблицей направляющих косинусов [1] при повороте системы координат вокруг одной из главных осей анизотропии на угол φ_i .

Для рассматриваемой модели с учетом поворота вокруг оси a_i формулы расчета упругих постоянных примут вид:

$$\left. \begin{aligned} \frac{1}{E'_{r_i}} &= \frac{\cos^4 \varphi_i}{E_{r_i}} + \left(\frac{1}{G_{r_i t_i}} - \frac{2\mu_{t_i r_i}}{E_{r_i}} \right) \sin^2 \varphi_i \cos^2 \varphi_i + \frac{\sin^4 \varphi_i}{E_{t_i}}; \\ \frac{1}{E'_{t_i}} &= \frac{\sin^4 \varphi_i}{E_{r_i}} + \left(\frac{1}{G_{r_i t_i}} - \frac{2\mu_{t_i r_i}}{E_{r_i}} \right) \sin^2 \varphi_i \cos^2 \varphi_i + \frac{\cos^4 \varphi_i}{E_{t_i}}; \\ \frac{1}{E'_{z_i}} &= \frac{1}{E_{z_i}}; \\ \frac{1}{G'_{r_i t_i}} &= 4 \left(\frac{1}{E_{r_i}} + \frac{1}{E_{t_i}} + \frac{2\mu_{t_i r_i}}{E_{r_i}} - \frac{1}{G_{r_i t_i}} \right) \sin^2 \varphi_i \cos^2 \varphi_i + \frac{1}{G_{r_i t_i}}; \\ \frac{1}{G'_{t_i a_i}} &= \frac{\cos^2 \varphi_i}{G_{t_i a_i}} + \frac{\sin^2 \varphi_i}{G_{a_i r_i}}; \\ \frac{1}{G'_{a_i r_i}} &= \frac{\sin^2 \varphi_i}{G_{t_i a_i}} + \frac{\cos^2 \varphi_i}{G_{a_i r_i}}; \\ -\frac{\mu'_{r_i t_i}}{E'_{r_i}} &= \left(\frac{1}{E_{r_i}} + \frac{1}{E_{t_i}} + \frac{2\mu_{r_i t_i}}{E_{r_i}} - \frac{1}{G_{r_i t_i}} \right) \sin^2 \varphi_i \cos^2 \varphi_i - \frac{\mu_{t_i r_i}}{E_{r_i}}; \\ -\frac{\mu'_{a_i r_i}}{E'_{r_i}} &= -\left(\frac{\mu_{a_i t_i}}{E_{t_i}} \sin^2 \varphi_i + \frac{\mu_{a_i r_i}}{E_{r_i}} \cos^2 \varphi_i \right); \\ -\frac{\mu'_{a_i t_i}}{E'_{t_i}} &= -\left(\frac{\mu_{a_i t_i}}{E_{t_i}} \cos^2 \varphi_i + \frac{\mu_{a_i r_i}}{E_{r_i}} \sin^2 \varphi_i \right). \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Для рассматриваемой модели, с учетом поворота вокруг оси a_i , формулы расчета влажностных постоянных примут вид:

$$\left. \begin{aligned} \frac{1}{K'_{r_i}} &= \frac{\cos^4 \varphi_i}{K_{r_i}} + \left(\frac{4}{K_{r_i t_i}^{(45)}} - \frac{1}{K_{r_i}} - \frac{1}{K_{t_i}} \right) \sin^2 \varphi_i \cos^2 \varphi_i + \frac{\sin^4 \varphi_i}{K_{t_i}}; \\ \frac{1}{K'_{t_i}} &= \frac{\sin^4 \varphi_i}{K_{r_i}} + \left(\frac{4}{K_{r_i t_i}^{(45)}} - \frac{1}{K_{r_i}} - \frac{1}{K_{t_i}} \right) \sin^2 \varphi_i \cos^2 \varphi_i + \frac{\cos^4 \varphi_i}{K_{t_i}}; \\ \frac{1}{K'_{z_i}} &= \frac{1}{K_{z_i}}, \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

где $K_{r_i t_i}^{(45)}$ – коэффициент усушки (разбухания) в диагональном направлении, составляющем углы $\varphi = 45^\circ$ с осями r_i и t_i .

Таким образом, вектор деформации в глобальной (декартовой) системе координат имеет вид:

$$\{\varepsilon'\} = \{\varepsilon'_u\} + \{\varepsilon'_w\}, \quad (8)$$

где $\{\varepsilon'_u\}$ – вектор упругих деформаций в глобальной системе координат;

$\{\varepsilon'_w\}$ – вектор влажностных деформаций в глобальной системе координат.

Вектор упругих деформаций, преобразованный для глобальной системы координат, имеет вид:

$$\{\varepsilon'_u\} = [D'] \cdot \{\sigma\}, \quad (9)$$

где $[D']$ – матрица податливости, преобразованная для глобальной системы координат.

Матрица податливости, преобразованная для глобальной системы координат, имеет вид:

$$[D'] = \begin{bmatrix} 1/E'_r & -\mu'_{tr}/E'_r & -\mu'_{ar}/E'_r & 0 & 0 & 0 \\ -\mu'_{rt}/E'_t & 1/E'_t & -\mu'_{at}/E'_t & 0 & 0 & 0 \\ -\mu'_{ra}/E'_a & -\mu'_{ta}/E'_a & 1/E'_a & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/G'_{rt} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G'_{ta} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G'_{ar} \end{bmatrix} \quad (10)$$

Вектор влажностных деформаций, преобразованный для глобальной системы координат, приобретает вид:

$$\{\varepsilon'_w\} = (W - W_0) [K'_r \quad K'_t \quad K'_a \quad 0 \quad 0 \quad 0], \quad (11)$$

где K'_r , K'_t , K'_a – коэффициент усушки (разбухания) в радиальном, тангенциальном и продольном направлении соответственно в глобальной системе координат.

Полученные результаты исследования могут быть использованы при совершенствовании деревянных клееных конструкций [2], определении влияния пороков древесины на напряженно-деформированное состояние ДКК [3], оценке прочности и жесткости клееных брусев для деревянного домостроения [4] и др.

Таким образом, предложено аналитическое описание деформаций ДКК в матричном виде, которое позволяет определить деформации ДКК при усушке и разбухании, и дает возможность повысить формоустойчивость изделий, находящихся в условиях переменной влажности за счет рационального выбора материалов его конструктивных элементов, их геометрических и структурных характеристик, взаимного расположения.

Библиографический список

1. Лехницкий С.Г. Теория упругости анизотропного тела / С.Г. Лехницкий. – М.: Наука, 1977. – 415 с.
2. Пардаев А.С. Повышение формоустойчивости клееных щитов из древесины на основе моделирования процессов усушки и разбухания / А.С. Пардаев, В.Б. Снопков // Архитектура и строительство. – 2009. – № 3. – С. 30–32.
3. Пардаев А.С. Определение влияния пороков древесины на напряженно-деформированное состояние элементов столярно-строительных конструкций на основе имитационного моделирования / А.С. Пардаев // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревооб. пром-сть. – 2010. – Вып. XVIII. – С. 193–195.
4. Рапинчук Д.Л. Оценка прочности и жесткости клееных брусьев для деревянного домостроения методом испытаний и моделирования нагружения / Д.Л. Рапинчук, А.С. Пардаев, О.К. Леонович // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревооб. пром-сть. – 2010. – Вып. XVIII. – С. 184–187.

В.В. Раповец, Н.В. Бурносков
БГТУ, Минск, Республика Беларусь

**ЗАВИСИМОСТЬ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЩЕПЫ ОТ ПАРАМЕТРОВ
ДВУХЛЕЗВИЙНЫХ НОЖЕЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ ДРЕВЕСИНЫ
НА ФРЕЗЕРНО-БРУСУЮЩИХ СТАНКАХ
(DEPENDENCE OF THE GEOMETRICAL SIZES TECHNOLOGICAL
CHIPS FROM PARAMETERS MULTIBLADE KNIFES AT WOOD PROC-
ESSING ON CHIPPER CANTER MACHINE TOOLS)**

В статье проведен анализ графических зависимостей длины скошенной части технологической щепы, угла среза торца технологической щепы от величины смещения оси бревна по отношению к оси вращения фрезы.

The analysis of graphic dependences length beveled portion chipping, cutting angle end chipping on the displacement axis of the log to the axis rotation the cutter.

Комплексное использование сырья в лесопильной промышленности охватывает ряд вопросов, куда входят оптимизация раскроя сырья, снижение энергоемкости процесса обработки, улучшение условий базирования пиломатериала [1], определение и внедрение в практику средств и методов использования отходов лесопиления, создание технологических процессов, исключающих или снижающих количество отходов при повышении (обеспечении) качества получаемой пилопродукции [2].

Существенный вклад в решение данной проблемы вносит комплексная обработка древесины фрезерованием [3], получившая широкое распространение не только в Республике Беларусь, но и в странах ближнего и дальнего зарубежья. Реализуется она посредством применения дорогостоящего энергоемкого агрегатного оборудования в основном зарубежного производства: фрезерно-брусующих станков (ФБС) и линий на их основе.

На фрезерно-брусующих станках наиболее эффективна агрегатная обработка древесины диаметром 8–18 см с получением бруса и технологической щепы. Но опыт эксплуатации современных ФБС в Республике Беларусь и за рубежом показывает, что на